

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Vlatko Leljak

Zagreb, 2015.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

PRIMJENA POLIMERNIH KOMPOZITA U
SPORTOVIMA NA VODI

Mentor:
Prof. dr. sc. Mladen Šercer

Student:
Vlatko Leljak

Zagreb, 2015.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svom mentoru prof. dr. sc. Mladenu Šerceru te doc. Ani Pilipović na pomoći, savjetima i strpljivosti tijekom izrade ovog završnog rada.

Vlatko Leljak



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomске ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: Vlatko Leljak Mat. br.: 0035179381

Naslov rada na hrvatskom jeziku: Primjena polimernih kompozita u sportovima na vodi

Naslov rada na engleskom jeziku: Application of polymer composites in water sports

Opis zadatka:

Polimerni materijali revolucionirali su sport posljednjih godina. Od staza na kojima olimpijski atletičari osvajaju nove rekorde do sportske obuće, odjeće, zaštitne opreme (kacige, štitnici za koljena) i konstrukcije stadiona (cijevi za vodu i odvodnju, sjedalice, krov), moderni sportovi ovisni su o polimernim materijalima. Oblikovljivost polimernih kompozita omogućuje izradbu glatkih dinamičkih površina koje su niske mase i visoke čvrstoće. Daskе za surfanje i skijanje na vodi, jedrilice, motorni čamci i ostala plovila sadrže dijelove od polimernih kompozita (trup, paluba, jarbol, nadgrađe...), koji su zamijenili tradicionalne materijale jer pružaju veću fleksibilnost, izvrsno se ponašaju u primjeni i brzo se proizvode.

U radu je potrebno načiniti pregled polimernih kompozita koji se upotrebljavaju za izradbu sportske opreme i rekvizita u sportovima na vodi, zahtjeve koji se postavljaju na materijale za primjenu na vodi te nove trendove na tom području.

Zadatak zadan:
25. studenog 2014.

Zadatak zdao:

Prof. dr. sc. Mladen Šercer

Rok predaje rada:
1. rok: 26. veljače 2015.
2. rok: 17. rujna 2015.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 2., 3., i 4. ožujka 2015.
2. rok: 21., 22., i 23. rujna 2015.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Zoran Kunica

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	I
POPIS KRATICA	II
SAŽETAK.....	III
SUMMARY	IV
1. UVOD	1
2. POVIJEST KOMPOZITNIH MATERIJALA	2
2.1 Definicija kompozitnih materijala.....	3
3. PODJELA KOMPOZITNIH MATERIJALA.....	4
3.1 Podjela kompozita prema vrsti matrice	4
3.1.1 Kompoziti s keramičkom matricom.....	4
3.1.2 Kompoziti s metalnom matricom.....	5
3.1.3 Kompoziti s polimernom matricom	5
3.1.4 Ugljik-ugljik kompoziti	5
3.2 Podjela kompozita prema obliku ojačavala.....	6
3.2.1 Kompoziti ojačani česticama	6
3.2.2 Kompoziti ojačani vlaknima	7
3.2.3 Strukturni kompoziti	8
4. PRIMJERI PRIMJENE POLIMERNIH KOMPOZITA U VODENIM SPORTOVIMA	9
4.1 Plivanje.....	9
4.2 Sportski ribolov	12
4.3 Surfanje na vodi	17
4.4 Utrke čamca.....	20
5. NOVI TRENDVI	24
6. ZAKLJUČAK	26

7. LITERATURA.....	27
8. PRILOG	29

POPIS SLIKA

Slika 3.1. Različita orijentacija vlakna	7
Slika 3.2. Primjer sendvič konstrukcije	8
Slika 4.1 Plivačko odijelo <i>Fatskin FS-LZR Racer</i>	10
Slika 4.2. Primjer ribičkog štapa izrađen od kompozita	13
Slika 4.3 Prikaz različitih udjela ugljikovih vlakna prema udjelu smole	14
Slika 4.4 Primjer proizvodnje ribičkog štapa	15
Slika 4.5. Prikaz materijala u <i>Triton</i> brodu za ribolov	17
Slika 4.6. Prikaz strukture daske za surfanje.....	18
Slika 4.7. Primjer veslačkog čamca	22
Slika 5.1 Daska za surfanje s vlaknima agave	25

POPIS KRATICA

ABS – akrilonitril/butadien/stirenska plastika

AU – poli(ester-uretanski) kaučak

CCC – ugljik ugljik kompozit

CMC - kompozit s keramičkom matricom

EPOXY – epoksidna smola

FPR – vlaknima ojačani kompozit

MMC – kompozit s metalnom matricom

PA – poliamid

PE- polietilen

PEST - poliester

PMC – kompozit s polimernom matricom

PP – polipropilen

PS - polistiren

PS-E –pjeneći polistiren

PUR – poliuretan

RTM – Injekcijsko-posredno prešanje

SAŽETAK

U završnom radu ukratko je opisana povijest kompozitnih materijala, te njihova podijela prema vrsti matrice i prema vrsti ojačavala. Ukratko su opisana svojstva pojedinih vrsta kompozita. U drugom dijelu su prikazani primjeri upotrebe kompozitnih materijala u sportovima na vodi. Opisane su vrste materijala koje se primjenjuju za proizvodnju polimernih kompozita u izradi opreme za primjenu u; natjecateljskom plivanju, sportskom ribolovu, surfanju na vodi i utrka čamaca. Opisana su svojstva koja ti polimerni kompoziti imaju i koja su važna za njihovu upotrebu u sportovima na vodi.

Ključne riječi: polimerni kompoziti, vodeni sportovi

SUMMARY

This paper shortly describes the history of composite materials and their categorization in terms of type of material used for matrix and type of reinforcement. Properties of certain types of composite materials are described. The second part gives examples of application of polymer composites in water sports. In the paper it is described types of polymer composites used in equipment for use in competitive swimming, sport fishing, surfing and boat racing. It is also described properties of polymer composite, which are important for their application in water sports.

Key words: polymer composites, water sports

1. UVOD

Kompozitni materijali su materijali koje karakteriziraju izvrsna svojstva, koja se dobivaju kombinacijom dva ili više materijala. Primjeri upotrebe kompozitnih materijala mogu se pronaći u dalekoj prošlosti, ali njihova raširena upotreba je počela i ne tako davno. Današnji svijet ne može se zamisliti bez kompozitnih materijala.

Primjeri njihove primjene uključuju:

- vojnu industriju
- zrakoplovnu industriju
- svemirska istraživanja
- primjenu u različitim sportovima
- automobilsku industriju
- oprema postojana na koroziju i visoke temperature, itd.

Razlozi njihove raširene primjene su u njihovim svojstvima, kao što su:

- niska gustoća
- visoka čvrstoća i krutost
- mali faktor trenja i otpornost na trošenje
- kemijska postojanost
- dimenzijska postojanost
- mogućnost prigušenja vibracija, itd.

2. POVIJEST KOMPOZITNIH MATERIJALA

Kroz povijest ljudi su primjenjivali različite kompozitne materijale. Jedan od najranijih primjera upotrebe kompozita dolazi iz Mezopotamije oko 3400. godine pr.n.e., kada su lijepljenjem drvenih traka pod različitim kutevima izradili prvu šperploču. Egipćani su u razdoblju od 2181 do 2055 pr.n.e. počeli upotrebljavati slojeve lana i papirusa umočene u gips za izradu obrednih maska. Oko 1500. godine pr.n.e. graditelj i obrtnici počinju upotrebljavati slamom ojačane cigle od blata, brodove i keramičko posuđe. Oko 25. godine pr.n.e. u deset knjiga o arhitekturi opisane su i istaknute konkretne upotrebe različitih tipova vapna i morta. Daljnjim istraživanjem uspjelo se demonstrirati da je cement opisan u tim knjigama sličan, a u nekim karakteristikama i bolji od cementa koji se danas primjenjuje. Oko 1200. godine, Mongoli su proizveli kompozitni luk izrađen od kombinacije drva, bambusa, kosti, tetiva, rogova goveda i svile, povezan s borovom smolom. Kao rezultat dobiven je mali, vrlo snažan i ekstremno precizan luk. Taj kompozitni luk bio je najstrašnije oružje na svijetu sve do pojave učinkovitog vatrenog oružja u 14-tom stoljeću. [1] Moderna era kompozitnih materijala počela je s razvojem polimernih materijala, koji je počeo početkom 20. stoljeća. Svojstva ovih novih materijala značajno premašuju svojstva do tada upotrebljavanih prirodnih smola. Međutim, plastika sama nije dovoljno čvrsta za strukturnu primjenu. Da bi se postigla dovoljna čvrstoća potrebna su ojačala. Owens Corning je 1935. godine predstavio prvo stakleno vlakno. Staklena vlakna u kombinaciji s polimerom stvara izuzetno jaku strukturu koja je istovremeno vrlo laka. Time je započeo razvoj industrije temeljen na vlaknima ojačan polimer (FPR). [2] Nagli razvoj i primjena kompozitnih materijala započela je 40-ih godina prošlog stoljeća. Tri su glavna razloga njihovog naglog razvoja: [3]

- vojni sektor je zahtijevao visoko čvrste i istovremeno vrlo lake materijale
- polimerna industrija bilježi nagli rast, te traži nova područja primjene polimernih materijala
- otkrivanje novih materijala s ekstremno visokom teoretskom čvrstoćom

Do kraja Drugog svjetskog rata kompozitna industrija je bila u punom jeku. Uz smanjenje potražnje za vojne proizvode, nekoliko inovatora ambiciozno pokušava uvesti kompozitne materijale na druga tržišta. Brodovi su bili logičan izbor, te je prvi komercijalni trup broda predstavljen 1946. godine. U tom periodu Brandt Goldsworthy, razvio je nove proizvodne postupke i nove proizvode. On je zaslužan za brojne napretke koji uključuju i prvu dasku za surfanje izrađenu iz staklenih vlakna, koja je revolucionirala sport. Goldsworthy je izumio proizvodni postupak pod nazivom pultrudiranje. Taj proizvodni postupak se danas primjenjuje za izradu ručki alata, cijevi, podova vlaka, medicinskih uređaja i mnogih drugih proizvoda. Zbog

svih tih zasluga na polju izrade kompozita mnogi znanstvenici nazivaju Brandt Goldsworthy „djed kompozita“. 1970-ih industrija kompozita počela je sazrijevati. Razvijene su bolje polimerne smole i nova ojačavala u obliku vlakna. *DuPont* razvio je aramidna vlakna koja su poznatija pod nazivom kevlar, ova vlakna su zbog svoje čvrstoće postala standardna u izradi oklopa. [2]

2.1 Definicija kompozitnih materijala

Kompozitni materijali definiraju se kao kombinacija dvaju ili više materijala u svrhu dobivanje jedinstvenih svojstva. Kod kompozitnih materijala, za razliku od metalnih legura, svaki materijal zadržava vlastite kemijska, fizikalna i mehanička svojstva. Kompozitni materijali se sastoje od dva osnovna konstituenta: matrice i ojačavala. [4]

Zadaća matrice je da: [5]

- drži ojačavalo zajedno
- štiti od vanjskih utjecaja
- ima važnu funkciju u prijenosu opterećenja na ojačavalo
- daje vanjsku formu kompozitu
- određuje njegova svojstva u obziru na djelovanje atmosfere

Zadaća ojačavala je da budu nosivi elementi kompozita, odnosno da osiguraju: [5]

- visoku čvrstoću
- visoki modul elastičnosti – krutost
- otpornost na trošenje

3. PODJELA KOMPOZITNIH MATERIJALA

Kompozitni materijali se u većini slučajeva dijele na dva osnovna načina. Prvi način je podjela prema vrsti materijala od kojeg je načinjena matrica kompozita, a druga podjela se odnosi na oblik ojačavala koje zajedno s matricom tvore kompozitni materijal.

3.1 Podjela kompozita prema vrsti matrice

Podjela kompozita prema vrsti matrice se razlikuje, prvenstveno jer se kompozitni materijali vrlo brzo razvijaju, pa se prema tome razvijaju nove podijele. Prema tome danas se uglavnom primjenjuju podijele na četiri vrste, a neki autori i na pet vrsta matrice kompozita, za razliku od prijašnjih podjela na tri vrste. Podjela na četiri vrste je zastupljenija u literaturi.

- kompoziti s keramičkom matricom (CMC)
- kompoziti s metalnom matricom (MMC)
- kompoziti s polimernom matricom (PMC)
- ugljik-ugljik kompozit (CCC)

3.1.1 Kompoziti s keramičkom matricom

CMC se primjenjuju u uvjetima koji zahtijevaju postojanost kompozita pri vrlo visokim temperaturama. Matrica može biti od oksidne keramike (Al_2O_3 , SiO_2), gdje takve matrice imaju nešto bolju toplinsku i kemijsku stabilnost. Za razliku od oksidne keramike, neoksidna keramika (SiC , Si_3N_4) ima bolja mehanička svojstva. Svojstva koja vrijede za sve kompozite s keramičkom matricom: [5]

- stabilnost pri ekstremno visokim temperaturama
- postojanost na toplinske šokove
- iznimna postojanost na koroziju
- visoka tvrdoća i otpornost na trošenje
- mala masa

3.1.2 Kompoziti s metalnom matricom

Kao metalna matrica kompozita najčešće se primjenjuje aluminij (Al) zbog jednostavne proizvodnje i niske cijene u usporedbi s ostalim metalnim matricama. Kao matrica upotrebljava se magnezij (Mg) kojeg karakterizira vrlo mala gustoća (oko 1700 kg/m^3), zatim titan (Ti) koji daje izrazito visoka mehanička svojstva, te dobru postojanost pri povišenim temperaturama i postojanost na koroziju. Bakrena (Cu) matrica daje visoku toplinsku vodljivost i malu toplinsku rastezljivost, dok se matrica od superlegura i čelika (Ni i Co + Mo, W, Ti, Al) upotrebljava pri ekstremno visokim temperaturama (i do $1400 \text{ }^\circ\text{C}$). Svojstva koja vrijede za sve kompozite s metalnom matricom: [5]

- vrlo visoka specifična čvrstoća i specifična krutost
- visoka toplinska i električna vodljivost i niska toplinska rastezljivost
- vrlo dobra otpornost na trošenje
- vrlo dobra mehanička i druga svojstva pri visokim temperaturama

3.1.3 Kompoziti s polimernom matricom

Kao matrica primjenjuju se plastomeri: poliamid (PA), polietilen (PE), polipropilen (PP), akrilonitril/butadien/stirenska plastika (ABS). Druga vrsta matrice su duromeri: poliesterske, epoksidne, vinil esterske, fenolne smole, itd. Duromerne matrice su zastupljenije u proizvodnji od plastomernih matrica. [5]

Svojstva kompozita s polimernom matricom: [5]

- dobra žilavost
- dobra obradljivost
- izuzetna korozijska postojanost
- visoki omjer čvrstoća/masa

3.1.4 Ugljik-ugljik kompoziti

Ugljik-ugljik kompoziti su novija vrsta kompozita, spada u generičku klasu kompozita. Mogu se proizvesti u velikom broju različitih oblika, od jednoslojnih do n-slojeva. Baš zbog mogućnosti proizvodnje velikog broja različitih oblika CCC-a njihova svojstva se mogu mijenjati prema želji proizvođača, odnosno prema zahtjevima koje treba zadovoljiti. Glavni nedostatak im je sklonost oksidaciji pri temperaturi višoj od $450 \text{ }^\circ\text{C}$, pa se zato primjenjuju zaštite od oksidacije kao što je dodavanje inhibitora oksidacije. [5]

Svojstva ugljik-ugljik kompozita: [5]

- visoki rastezni modul elastičnosti
- visoka rastezna čvrstoća, ne mijenja se niti pri temperaturi višoj od 2000°C
- otpornost na puzanje
- relativno visoka žilavost
- niska toplinska rastezljivost, mala osjetljivost prema toplinskom šoku
- visoka toplinska vodljivost

3.2 Podjela kompozita prema obliku ojačavala

Druga vrsta podjele kompozitnih materijala odnosi se na oblik ojačavala koji se nalazi unutar matrice kompozita. Podjela kompozita prema obliku ojačala vrši se na tri osnovne grupe, a svaka grupa se može dalje podijeliti na manje grupe. Osnovna podjela kompozita prema obliku ojačavala je: [4]

- kompoziti ojačani česticama
- kompoziti ojačani vlaknima
- strukturni kompoziti

3.2.1 Kompoziti ojačani česticama

Kao što samo ime govori kod ove vrste kompozita ojačavalo je u obliku čestica. Ojačanje česticama povisuje otpornost materijala (matrice) na distorziju, a ta otpornost ovisi o načinu disperzije čestica unutar matrice. Čestice su najčešće od oksida, nitrida, karbida, npr: Al_2O_3 , SiC, BN, TiC, WC... [5]

S obzirom na veličinu čestica i način na čestice utječu na svojstva kompozita dijele se na: [4]

1. Kompoziti s disperzijom – čestice manje od 0,1µm
2. Kompozite s (velikim) česticama – čestice veće od 0,1µm

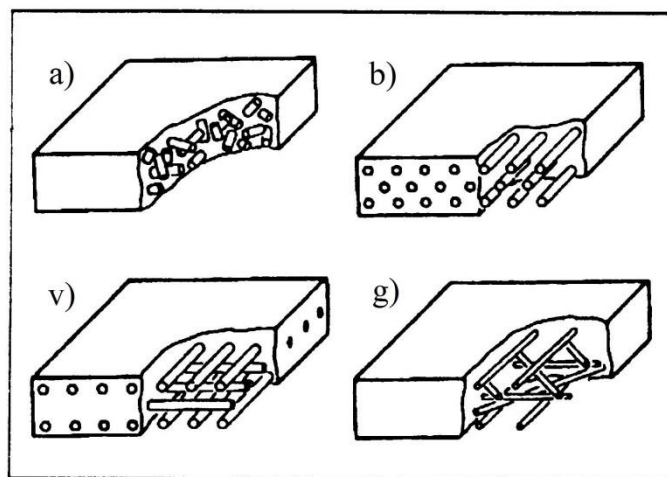
3.2.2 Kompoziti ojačani vlaknima

Kod vlaknima ojačanih kompozita dolazi do izražaja poboljšanje čvrstoće, žilavosti, krutosti, te povećanja omjera čvrstoća/gustoća uslijed ugradnje čvrstih, krutih i krhkih vlakana u mekaniju, duktilniju matricu. Materijal matrice prenosi opterećenje na vlakna te osigurava duktilnost i žilavost, budući da vlakna nose veći dio opterećenja. Upravo zbog te činjenice je vrlo važna veza između matrice i vlakana. Dva značajna svojstva vlakana su visoka toplinska stabilnost i kontrolirana rastezljivost pri povišenim temperaturama. Vlaknima ojačani kompoziti spadaju u grupu anizotropnih materijala budući da imaju znatno bolja svojstva u smjeru vlakna. Vlakna se razlikuju prema vrsti, duljini, promjeru, orijentaciji, hibridizaciji. [6]

Svojstva kompozita ojačanim vlaknima ovise o: [6]

- omjer duljina/promjer vlakana
- volumnom udjelu vlakana
- usmjerenosti vlakana
- svojstvima vlakana
- svojstvima matrice

Primjer različitih mogućnosti orijentacije vlakna unutar matrice prikazan je na slici 3.1.



Različita vlakna:

- a) kratka, slučajno orijentirana
- b) duga, u jednom smjeru
- c) duga, međusobno okomito orijentirana
- d) duga, isprepletena, slučajno orijentirana

Slika 3.1. Različita orijentacija vlakna [7]

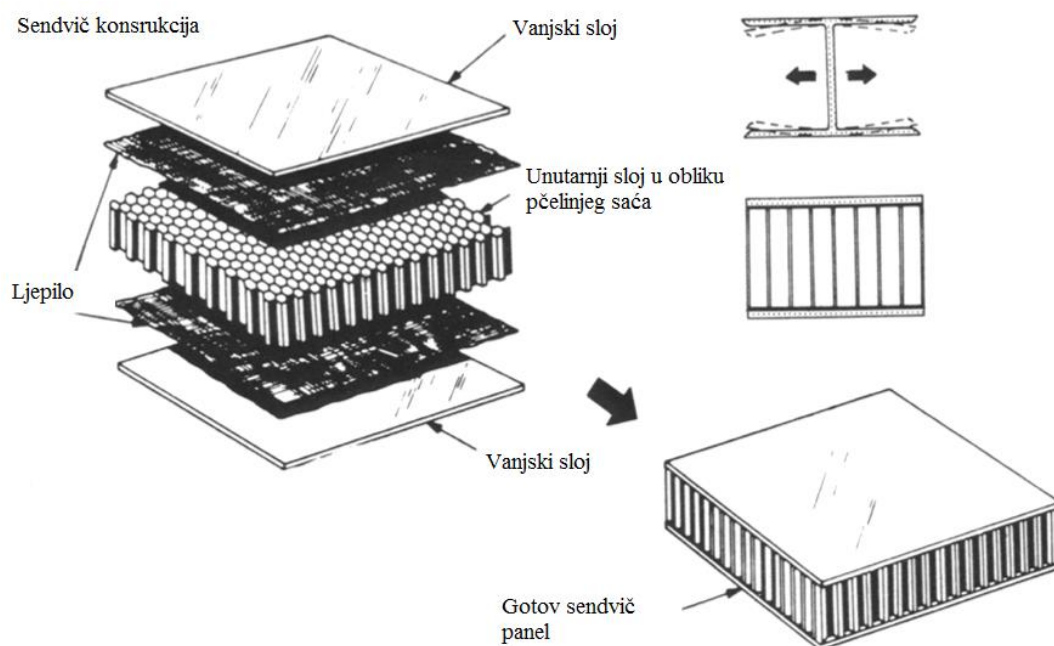
Kontinuirana vlakna se teže proizvode i ugrađuju u matricu, ali osiguravaju najbolja svojstva. Diskontinuirana vlakna s velikim omjerom duljina/promjer znatno se lakše ugrađuju u matricu, i tako čine materijal visoke čvrstoće i krutosti. [6]

3.2.3 Strukturni kompoziti

Strukturni kompoziti se uobičajeno sastoje od homogenog i kompozitnog materijala, a njihova konačna svojstva ne ovise samo o svojstvima materijala koji čine kompozit, nego i o geometrijskom dizajnu različitih strukturnih elemenata. Dvije načešće grupe koje se pojavljuju unutar strukturnih kompozita su laminarni kompoziti i sendvič konstrukcije. [6]

Laminarni kompoziti mogu se opisati kao materijali koji se sastoje od slojeva materijala povezanih u cijelinu. Broj slojeva varira od dva na više ovisno o tome kakva svojstva želimo postići. Vrlo je bitna i orijentacija slojeva, tu se iskorištava mogućnost povezivanja većeg broja slojeva materijala koji su različito orijentirani jedan prema drugome, što za posljedicu daje materijal s poboljšanim svojstvima u više smjerova. [6]

Sendvič paneli su vrsta strukturnih kompozita koji se sastoje od dva vanjska sloja više čvrstoće i manje debljine, unutar kojih se nalazi deblji sloj materijala manje gustoće (jezgra). Vanjski slojevi nose veći dio površinskih opterećenja i opterećenje izazvano poprečnim savijanjem. Dok jezgra služi za razdvajanje vanjskih slojeva i pruža deformacijsku otpornost, te daje određenu smičnu čvrstoću duž ravnine. [6] Način izrade sendvič konstrukcije prikazan je na slici 3.2.



Slika 3.2. Primjer sendvič konstrukcije [8]

4. PRIMJERI PRIMJENE POLIMERNIH KOMPOZITA U VODENIM SPORTOVIMA

Razvoj polimernih materijala doveo je do radikalnih promjena u dizajniranju i konstrukciji brodova i ostale opreme za vodene sportove. Dvije, vjerojatno najvažnije promjene koje su uveli polimerni materijali bile su u pogledu smanjenja troškova i povećanju omjera čvrstoće naspram mase. Promjene su počele s primjenom trupa broda ojačanih sa staklenim vlaknima, a daljnji razvoj obuhvatio je veliki raspon polimernih materijala koji uključuju ugljičnim i armidnim vlaknima ojačane materijale i krute pjene. Većina materijala ojačanih sa staklenim vlaknima upotrebljava se u izradi brodova, koji uključuju i vrlo velike brodove, male brodove i jet ski. [9]

4.1 Plivanje

Danas plivanje u sportskom kontekstu se ne može zamisliti bez naprednih materijala, koji su uglavnom polimerni kompoziti. Najbolji dokaz koliko moderni materijali utječu na rezultate u sportovima, ovdje se to odnosi na plivanje, je podatak da je u razdoblju između 2008. i 2009. godine u eri poliuretanskih (PUR) odijela postavljeno više od 200 svjetskih rekorda. Budući da su krajem 2009. godine od aktualnih svjetskih rekorda samo dva postavljena prije 2008. godine i to računajući i žensku i mušku konkurenciju zajedno, postalo je upitno koliko zapravo rezultat ovisi o samom plivaču, a koliko o napretku materijala koji se primjenjuje u izradi plivačke opreme. To je dovelo do toga da je međunarodno plivačko upravno tijelo zabranilo upotrebu plivačkih odjela na bazi poliutereni, što je označio povratak „običnih“ tekstilnih odjela, ali i povratak kratkih hlača za plivače i ženskih odijela iznad koljena i naramenicama. Za usporedbu zabranjenja odijela imaju duge nogavice, a neke i duge rukave. [10]

Visoko tehnološke plivačke tkanine su znanstveno napredni materijali koji se upotrebljavaju za izradu kupaćih kostima u natjecateljskim vodenim sportovima kao što je plivanje i triatlon. Materijali koji se upotrebljavaju su *Lycra* što je komercijalni naziv za poli(ester-uretanski) kaučak (AU), poliamid (PA) i poliuretan (PUR) koji imaju svojstvo smanjenja otpora između plivača i vode. Materijal ima svojstva koja omogućuju povećanje klizanja plivača kroz vodu (oponašajući kožu morskih životinja) i smanjenje upijanja vode u usporedbi s uobičajenim odijelima. Neke kompanije tvrde da njihove tkanine smanjuju otpor i više od otpora koji nastaje između kože plivača i same vode. Da bi postigli što bolje rezultate dizajnirana su natjecateljska odijela koja pokrivaju ruke i noge. Primjer takvog plivačkog odijela je *Fastskin*. [10]

Fatskin FS-PRO je plivačko odijelo koje je proizveo *Speedo* 2007. godine i mnogi to odijelo smatraju najboljim „laganim“ plivačkim odijelom. Odijelo je razvijeno u *Speedo*-vom laboratoriju, kao odgovor na zahtjeve plivača i njihovih trenera koji su tražili plivačko odijelo koje omogućuje jednaku brzinu i kompresiju kao i *Speedo*-v *Fastskin* i *Fastskin 2*, ali upotrebom tkanine vrlo male mase. Testovi su pokazali da ovo odijelo pruža najmanji otpor od svih plivačkih odijela izrađenih od lakih tkanina, što je pomoglo sportašima u bržem gibanju kroz vodu. [11] Primjer plivačkog odijela prikazan je na slici 4.1.



Slika 4.1 Plivačko odijelo *Fatskin FS-LZR Racer* [11]

Glavna svojstva *Speedo Fastskin FS-PRO* uključuju [11]:

- mala masa i visoka istezljivost
- superiornu kompresiju u usporedbi s ostalim laganim odijelima
- poboljšana stabilnost jezgre u usporedbi s ostalim laganim odijelima
- bolje pristaju plivaču što je postignuto računalnim modeliranjem
- manji površinski otpor u usporedbi s ostalim laganim odijelima
- manji ukupni pasivni otpor u usporedbi s ostalim laganim odijelima
- vodonepropusnost i brzo sušenje

Laminarni kompozit:

Ovo odijelo izrađuje isključivo *Speedo* pod nazivom *Fastskin LZR Racer*. Odijelo je izrađeno od lagane tkanine koja je istkana od AU i ultra finih PA vlakna koja čine osnovni sloj, na koji se

dodaje tanak sloj poliuretana (PUR). Prema tome odijelo spada u skupinu laminarnih kompozita i to s dva sloja. [11]

AU vlakna

Bolje poznata pod trgovačkim imenima, *Lycra* i *Dorlastan*, predstavljaju vrhunac umjetno proizvedenih vlakna. AU je prvi puta proizveden 1937, u Njemačkoj, a njegova posebnost je u tome da posjeduje svojstva koja se mogu naći u prirodi, a glavno svojstvo je izuzetna elastičnost. U usporedbi s gumom, AU ima veću otpornost na trganje, izdržljivost i kapacitet naprezanja dva ili tri puta veši, a posjeduje samo trećinu mase. Nakon rastezanja uvijek se vraća u prvobitan oblik, zato je pogodan za odijeću koja trebaju prijanjati uz tijelo, a istovremeno moraju biti ugodna za nošenje. Postoje dvije osnovna postupka u proizvodnji AU. Prvi postupak se sastoji u tome da se AU vlakno zamota u neelastičnu nit – prirodnu ili umjetnu. Nastalo predivo ima izgled i osjet jednak onom vlaknu koje se nalazi s vanjske strane. Drugi postupak uključuje upotrebu čistih AU vlakna koja su umetnuta ili utkana u tkanine izrađene od nekog drugog materijala. Dodatna elastičnost povećava ugodnost nošenja tkanine. [12]

Svojstva AU vlakna: [12]

- mogu se istegnuti 4-7 puta od originalne duljine, te se vratiti u početni položaj nakon rasterećenja.
- 2 % AU je dovoljno da hlače vrate prvotni oblik nakon rastezanja. U takmičarskim sportskim odijelima upotrebljava se 15 – 40 % AU
- AU vlakna garantiraju visoki stupanj udobnosti u kombinaciji s velikom slobodom pokreta
- u pletenim tkaninama AU vlakna povećavaju mogućnost zadržavanja oblika i ubrzava oporavak nabora
- AU nije osjetljiv na isparavanje, kozmetiku, kreme za sunčanje ili morsku vodu. Naprimjer odijela od AU treba isprati nakon primjene
- AU se jednostavno održava

Nedostaci AU vlakna: [12]

- AU vlakna ne „dišu“ što ih čini neprikladnim za upotrebu u aktivnostima koje izazivaju znojenje kao što je biciklizam ili planinarenje jer mogu izazvati pojavu infekcija i žuljeva.

- njihova glatkoća predstavlja opasnost ukoliko se primjenjuju kod određenih sprava i opreme. Primjer je dizanje utega, koje predstavlja problem budući da odjeća izrađena iz AU vlakna lako klize, te osoba nema pouzdan oslonac što može dovesti do ozbiljnih ozljeda.
- visoka osjetljivost na toplinu. Pranje u vrućoj vodi ili glačanje ne dolazi u obzir.
- kod nekih ljudi može izazvati alergijske reakcije i izaziva iritaciju osjetljive kože, zbog prisutnosti nekih štetnih kemikalija.

4.2 Sportski ribolov

Polimerni kompozitni materijali se primjenjuju u sportskom ribolovu i to za izradu ribolovnih kajaka, brodova i naravno za izradu ribičkog štapa. Ribički štapovi se izrađuju od staklenih vlakana (rijeđe za primjenu u sportu) i ugljikovih vlakna koja služe kao ojačanja, dok se za matricu upotrebljavaju različite smole, od kojih najčešću primjenu imaju epoksidne smole. Upotrebom staklenih vlakna dobivaju se ribički štapovi koji su relativno jeftini, ne zahtijevaju održavanje, imaju prosječnu masu i dobru čvrstoću. [14]

Ugljikova vlakna se češće upotrebljavaju za izradu ribičkih štapova za primjenu u sportu. Ugljikova vlakna sastoje se od dugih čvrsto isprepletenih lanaca ugljikovih atoma. Nekoliko tisuća vlakana se uvijaju i tako tvore pređu (konac), koji se može koristiti u tom obliku ili se može istkati tkanina. Gustoća ugljikovih vlakana je znatno manja od gustoće čelika što ih čini pogodnim za izradu vrlo laganih proizvoda. Ugljična vlakna se dijele u grupe prema vlačnom modulu. [14]

Podjela ugljikovih vlakna prema rasteznom modulu: [15]

1. ugljikova vlakna niskog modula LM – $230\,000\text{ N/mm}^2$
2. ugljikova vlakna srednjeg modula IM – $270\,000\text{ N/mm}^2$
3. ugljikova vlakna visokog modula HM – $300\,000\text{ N/mm}^2$
4. ugljikova vlakna vrlo visokog modula VHM – $725\,000\text{ N/mm}^2$

Dobri ribički štapovi generalno govoreći imaju visoki rastezni modul, visoku čvrstoću i srednji udio vlakna u kompozitu. Ugljikova vlakna su fleksibilna, male mase, nezapaljive, posjeduju visoku kemijsku postojanost i dobru toplinsku i električnu vodljivost.[14] Primjer ribičkog štapa izrađen od kompozita s ugljikovima vlaknima prikazan je na slici 4.2.



Slika 4.2. Primjer ribičkog štapa izrađen od kompozita [16]

Kompozit proizveden od ugljikovih vlakna i epoksidne smole je izrazito skup, ali ga njegova svojstava u pogledu vrlo male mase, visoke krutosti i čvrstoće čine odličnim izborom za proizvodnju ribičkog štapa. Svojstva ribičkog štapa ne ovise samo o vrsti vlakna i materijalu matrice nego i o njihovome udijelu. Tvrtka *DAIWA* je razvila nove kompozite poboljšanih svojstva pod nazivom *HVF*, *SVF*, *Super SVF* i *Z-SVF*.

„Običnim“ ugljikovim vlaknima ojačani štapovi imaju visoki udio smole između ugljičnih vlakna, dok se *DAIWA HVF* štapovi izrađeni sa smanjenom količinom smole, čime se dobivaju bolja svojstva, kao što je dodatno smanjenje mase, povećanje čvrstoće i brži odziv prilikom primjene.

SVF - sadrže još manji udio smole između vlakna, što za posljedicu daje dodatno smanjenje mase, povećanje čvrstoće i omogućuje vrlo brzu reakciju, te smanjuje moment.

Super SVF – upotrebljavaju se HV ugljikova vlakna, a udio smole se dodatno smanjuje. Ribički štap izrađen iz ovog kompozita karakteriziraju ekstremno mala masa i ekstra brza reakcija. Nedostatak im je u visokoj cijeni.

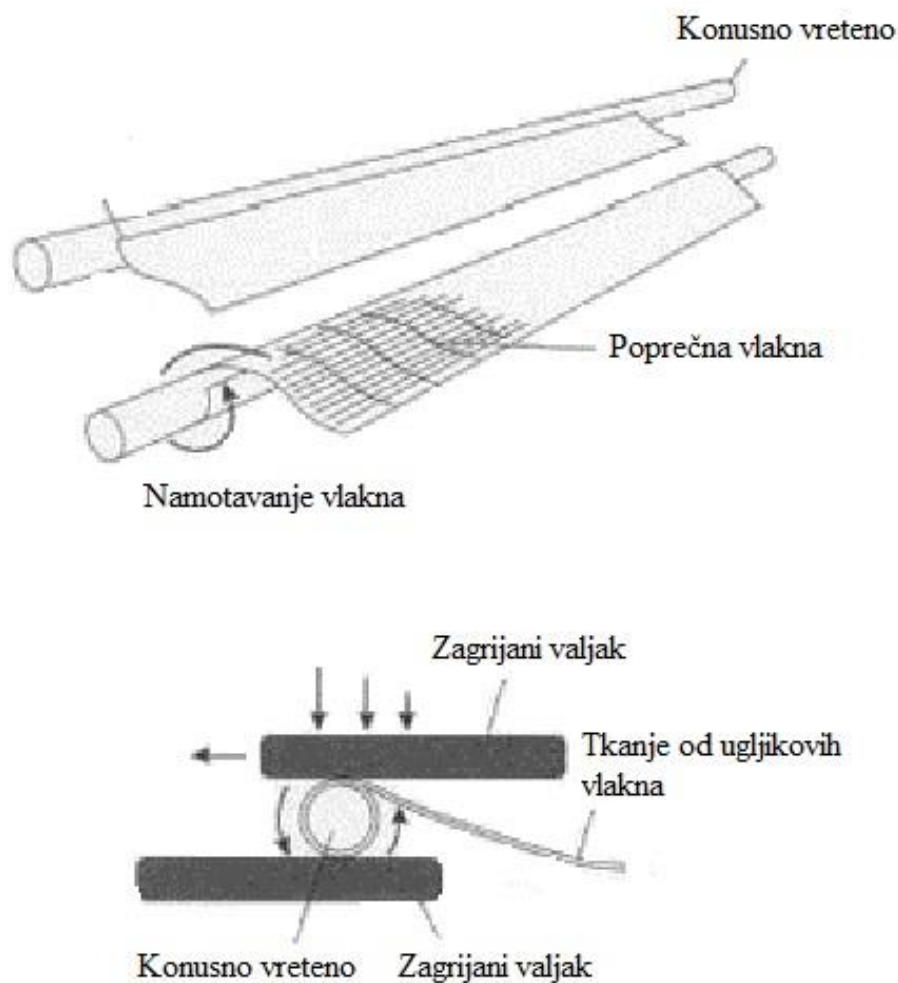
Z-SVF – najlakši ugljikovim vlaknima ojačani kompozit koji *DAIWA* proizvodi. Ovaj materijal visoke gustoće primjenjuje se samo za nekoliko vrsta ribičkih štapova, zato jer je izuzetno skup i njegova proizvodnja izrazito komplicirana. Izgled različitih tipova kompozitnih materijala, za izradu ribičkog štapa prikazani su na slici 4.3. [17]



Slika 4.3 Prikaz različitih udjela ugljikovih vlakna prema udjelu smole [17]

Proizvodi se postupkom namotavanja:

Tkanina od ugljikovih vlakna se uranja u smolu, zatim se provlači kroz metalne valjke. Time se postiže željena količina smole u tkanini. Tkanina se zatim zagrijava da bi se odstranio višak otapala i da bi smola djelomično umrežila dok ne postane malo lijepljiva. Trake se slažu na jednu hrpu, a zatim režu prema predlošku. Jedan rub trake se zagrijava tako da bi se mogao spojiti na konusni željezni štap koji se naziva vreteno. Tkanina se orijentira na način da su većina vlakna usmjerena duž duljine vretena, dok je samo jedna šestina do jedna desetina vlakna usmjerena okomito. Vreteno se kotrlja između dva zagrijana metalna valjka koji stvaraju pritisak tijekom namotavanja vlakna na vreteno. Zatim se tanak film sintetičkog polimera, kao što je poliester ili celofan, omata oko slojeva vlakna. Omotano vreteno se zagrijava pri temperaturi od oko 150 - 180 °C i pri toj temperaturi se zadržava sljedećih 30-60 minuta. Toplina izaziva suženje polimernog filma, primjenjujući pritisak na vlakna, dok smola postepeno umrežuje. Vreteno se odstranjuje od otvrdnutih vlakna upotrebom tlaka, a polimerni film se odstranjuje pomoću čelične četke, pare pod visokim tlakom, itd. Štap se zatim pijeskari da bi se otklonio višak smole i postigla glatka površina. Jedan od načina proizvodnje ribičkog štapa prikazan je na slici 4.4. [18]



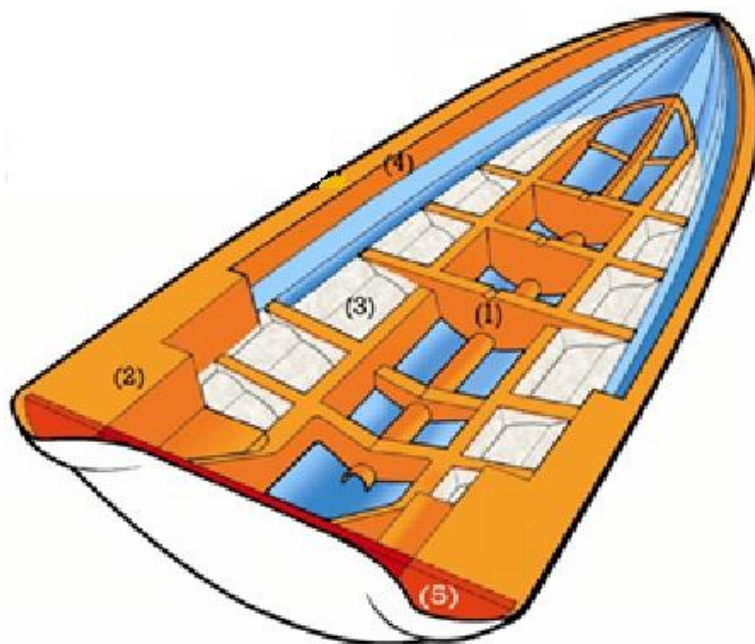
Slika 4.4 Primjer proizvodnje ribičkog štapa [18]

Brodovi za ribolov:

Brodovi za ribolov izrađuju se od staklenim vlaknima ojačanih kompozita, dok se za matricu primjenjuje drvo ili neka smola (epoksidna-vinil-esterska smole daju najbolja svojstva). Brodovi za ribolov razlikuju se u udjelu drvo/staklena vlakna kompozitu. Tim kompozitom se izrađuju samo određeni dijelovi kao što su sustav greda ili paluba. Drvo sadrži vlagu pa se zato može širiti i sužavati što nakon određenog vremena može dovesti do odvajanja laminatne strukture. Zato su neki proizvođači, kao što je *Triton Boats*, u potpunosti izbacili drvo iz upotrebe. Drvo je zamjenjeno s jezgrom od poliuretana, koji se za razliku od drva ne razgrađuje, kemijski se vežu sa staklenim vlaknima i na njega ne utječu klimatske promjene. Prednost im je i u tome što su takvi kompoziti lakši i čvršći od većine drvo/staklena vlakna laminata. Svaki *Triton*-ov brod

sastoji se od ručno izrađene konstrukcije od staklenih vlakna i AME 1000 smole [19] (epoksid-vinil-ester smola). Ova modificirana epoksid-vinil-ester smola je proizvedena specijalno za proizvođače brodova vrhunske kvalitete. [20] Ova smola daje višu čvrstoću i bolju prionjivost bez dodatka na masu. Brod se sastoji od tri konstrukcije – trup broda, grede i paluba. Sva tri dijela proizvode se od staklenih vlakna i to ručnim načinom rada. Dijelovi se zatim povezuju jedan s drugim i tako čine čvrstu jedinstvenu cijelinu. Glavni dio svakog broda je izvrstan sustav staklenih vlakna, koja zajedno s načinom spajanja osiguravaju bolja svojstva prvenstveno čvrstoću i krutost broda u odnosu na ostale upotrebljavanje kompozitne materijale. Prednost staklenih vlakna prema celuloznim vlaknima je u tome da se epoksidna smola veže kemijskim vezama sa staklenim vlaknima, dok kod celuloznih vlakna to nije moguće, te se ona vežu samo mehaničkim vezama. Zato su staklena vlakna bolji izbor za izradu bodova za ribolov.

Posebna pažnja posvećena je sigurnosti broda, pa se zato sam postupak proizvodnje razlikuje od običnih načina proizvodnje. Prvo se poliuretanska pjena ubrizgava u sustav vlakna, zatim se popunjavaju praznine između vlakna tako da bi se podržala masa trupa, putnici i oprema. U stražnje kutove dodaju se veliki odjeljci ispunjeni pjenom da bi se podržala masa pogonskog motora. Konačno, pjena se ubrizgava ispod poda broda i unutar palube, što pruža vrhunsku uspravnost i razinu plovidbe broda, kao i dodatnu izolaciju za škrinje s ledom, kutije za ribe i ostale opreme za skladištenje i održavanje ulova svježim. [19] Primjer konstrukcije kompozitnog čamca za ribolov prikazan je na slici 4.5.



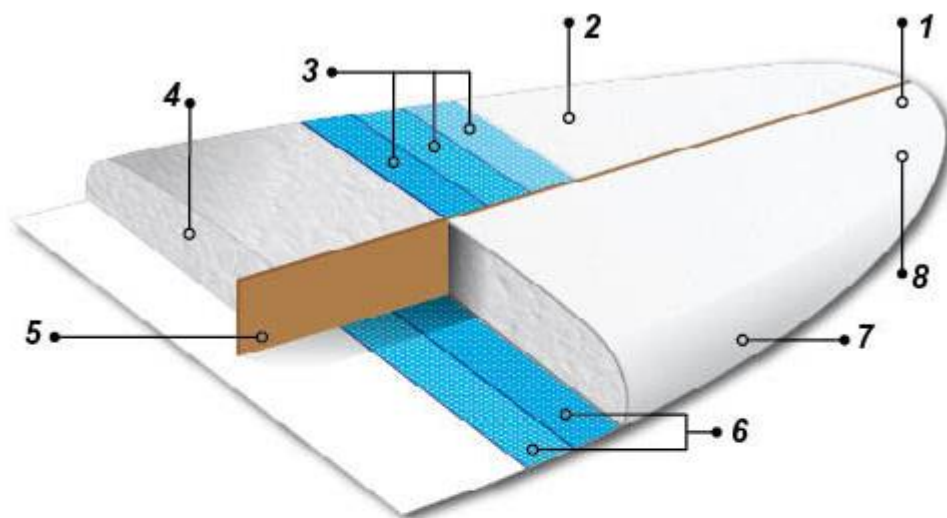
- 1) Pjenom ispunjeni sustav staklenih vlakna
- 2) Pjenom ispunjeni odjeljci za plutanje
- 3) Pjenom ispunjeni odjeljci u trupu broda
- 4) Pjenom punjene grede u trupu broda
- 5) Kompozitna poprečna greda

Slika 4.5. Prikaz materijala u *Triton* brodu za ribolov [19]

4.3 Surfanje na vodi

Surfanje na vodi je sport u kojem je cilj „vožnja“ na valovima prema obali, uobičajno koristeći dasku za surfanje. Surfanjem na vodi prvi su se bavili stanovnici Havaja i Polinezije. U 20. stoljeću sport se je proširio na Kaliforniju i Australiju, a nakon toga i na ostatak svijeta [21].

Daske za surfanje se proizvode iz strukturnog kompozita. Sve daske za surfanje primjenjuju platno od staklenih vlakna, a tip konstrukcije se obično određuje prema vrsti smole i pjene koja se upotrebljava. Standardni materijali koji se upotrebljavaju su: epoksid/PS-E i PEST/PUR. Prva oznaka se odnosi na tip smole koji se upotrebljava, a drugi na tip jezgre. Kao ojačanje za oba slučaj primjenjuje se platno od staklenih vlakna. [22] Jedan tip strukture daske za surfanje prikazan je na slici 4.6.



- 1- Dodatno pojačanje vrha i repa daske
- 2- Proziran polimer
- 3- Staklena vlakna s epoksidom
- 4- Jezgra od PS-E
- 5- Drvena mosnica
- 6- Staklena vlakna s epoksidom
- 7- Dodatno pojačanje spojnice
- 8- Bešavna završna obrada spojnice

Slika 4.6. Prikaz strukture daske za surfanje [22]

Usporedba „tradicionalnog“ kompozita i kompozita se epoksidnom smolom: [22]

1. „Tradicionalna“ daska za surfanje na vodi (PEST/PUR): Poliuretanska pjena se koristi u „tradicionalnim“ daskama zajedno sa PEST smolom i platnom od staklenih vlakna. Ova vrsta daske je izrađena iz PUR jezgre i to ručnom ili strojnom obradom. Jezgra daske se prekriva tkaninom od staklenih vlakna koja su pod opterećenjem, te se povezuje pomoću PEST smole. Nakon očvršćavanja daska se pjeskari do željene glatkoće, te time završava postupak izrade daske za surfanje na vodi.
2. Daska za surfanje na vodi s epoksidnom smolom: Ova vrsta daska je postala vrlo popularna u proteklom desetljeću. Daske se izrađuju od epoksidne smole, jezgre od PS pjene i staklenih vlakna koja su istkana u tkaninu. Epoksidna smola je puno čvršća i

manje toksična od PEST smole, a PS pjena je puno lakša od PUR pjene koja se primjenjuje u „tradicionalnim“ daskama. Prema tome ova daska je čvršća, lakša i manje toksična od „tradicionalnih“ daske za surfanje na vodi.

Vrste jezgra za kombinaciju sa epoksidnom smolom: [22]

1. PS-E: Ova jezgra ima otvorenu strukturu, zato će ukoliko dođe u kontakt s vodom upiti vodu poput spužve. Loše strane se očituju u niskoj čvrstoći, niskoj otpornost na kompresiju i komplicirano oblikovanje. Ove vrste daske daju solidna svojstva kada se povežu s epoksidnom smolom, obično su manjih cijena.
2. Ekstrudirane PS jezgre: Ova jezgra ima zatvorenu strukturu te kao takva je vodootporna i posjeduje veću otpornost prema kompresiji i oštećenju. Jedna od najvidljivijih prednosti u odnosu na prethodni tip daske je u njihovom poboljšanju glede otpornosti na savijanje, budući da je upotrebljena zatvorena struktura koja omogućuje bolja svojstva pod opterećenjem. Sve daske za surfanje na vodi visoke upotrebljavaju koriste ovaj tip pjene.

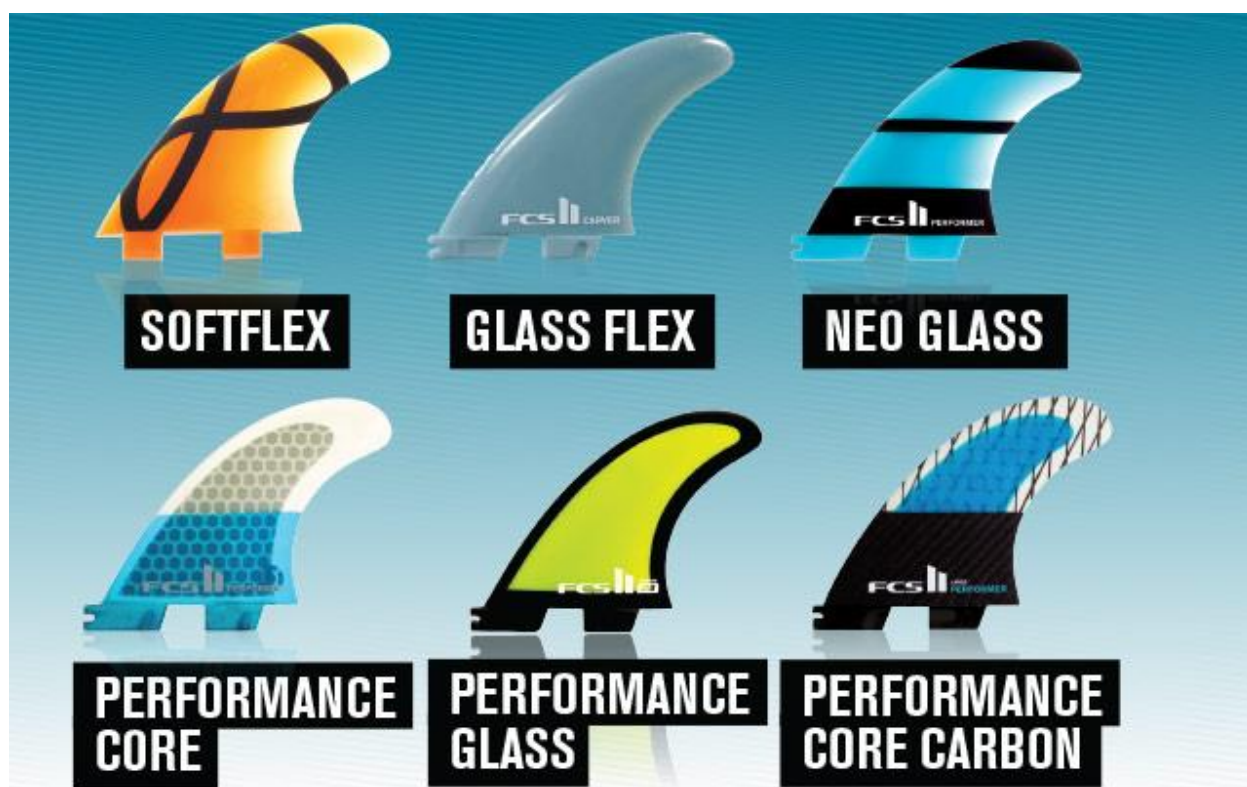
Daske za surfanje se danas proizvode s odvojivim kobilicama, što omogućuje da svaka osoba može izabrati kobilicu s karakteristikama koje im odgovaraju. [22]

Vrste kobilica za daske za surfanje: [23]

- *Softflexs* - izrađuje se iz mekanog poliuretana. Za najveću sigurnost, ova daska ima najveću fleksibilnost, pa samim time i kasni odziv. Proizvodi se preciznim lijevanjem u kalup.
- *Gllasflex* - izrađuje se preciznim kalupljenjem od inženjerskog polimera. Fleksibilnost peraje daje zakašnjeni odziv u vodi. Polimer je ojačan ugljikovim vlaknima, čiji udio u strukturi iznosi 40 %. Primjenjuju je surferi s određenim iskustvom, ali se ne primjenjuje u natjecateljskim sportovima.
- *Neo glass* – izrađuje se preciznim kalupljenjem od polimera za marinsku upotrebu. Udio dugih staklenih vlakna je 50 %. Mala savitljivost za brzi odziv u vodi, namijenjen je profesionalcima.
- *Performance core* – proizvodi se injekcijsko – posrednim prešanjem (RTM). Smola sa staklenim vlaknima čini vanjsku strukturu, a jezgra je u obliku pčelinjeg saća. Udio vlakna je 55 %, zbog više krutosti ima bolji odziv u vodi. Malo veće mase od prethodnih vrsta, ali najbolja svojstva od svih do sada spomenutih kompozita. Namijenjena je profesionalcima.

- *Performance core carbon* – proizvodi se injekcijsko – posrednim prešanjem. Upotrebljava se kombinacija staklenih i ugljikovih vlakna. Kao matrica upotrebljava se smola, a jezgra je u obliku pčelinjeg saća. Udio staklenih vlakna je 60 %, namijenjena je isključivo profesionalcima.
- *Performance glass* – kompozit s istkanim staklenim ojačavalom povezan sa smolom. Udio staklenih vlakna je 65 %, najlakša vrsta kobilica. Omogućuje izvrstan odziv zbog povećane krutosti.

Različite vrste kobilica za montažu na daske za surfanje prikazane su na slici 4.7 [23]



Slika 4.7. Kobilice za daske za surfanje [23]

4.4 Utrke čamca

Materijali koji se upotrebljavaju za izradu čamaca, kao i većina materijala za sportsku upotrebu, uglavnom dolaze iz zrakoplovne i svemirske industrije. Svi proizvođači čamaca primjenjuju iste kompozitne materijale, razlika je načinu upotrebe tih materijala i njihovoj količini u samom proizvodu. Strukturni integritet čamca osigurava vanjski tanak sloj koji se izrađuje iz slojeva kompozitne tkanine kao što su: ugljikova vlakna, staklena vlakna ili aramidna vlakna (poznat pod imenom Kevlar). [24]

Ugljikova vlakna: ugljikova vlakna dobivaju svoju snagu iz načina na koji se atomi vežu s mikroskopskim kristalima i njihovom poravnjavanju uz duge osi vlakna. Ovo osigurava ekstremno jaku vezu u odnosu na veličinu vlakna. Ta vlakna se zatim omataju te tako nastaje predivo, koje se istkaje u tkaninu. Tkanina je dostupna u velikom broju raličitih tkanja ovisno o zahtjevima koje moraju zadovoljiti. [24]

Staklena vlakna: tkanina nastala tkanjem vrlo tankih staklenih vlakna. Staklena vlakna se danas vrlo malo upotrebljavaju u izradi sportskih čamaca zato jer su znatno teža od ugljikovih vlakna. Prednost im je znatno manja cijena, pa se zato mogu naći u nekim dijlovima čamaca niže klase. [24]

Aramidna vlakna (kevlar): tkanina nastala tkanjem sintetičkih vlakna, uobičajeno se upotrebljavaju u zaštitnoj opremi i gumama za motorna vozila. Aramidna vlakna su izuzetno čvrsta, ali vrlo skupa, s njime je izuzetno teško raditi i jednom kad se ošteti više se ne može popraviti. [24]

Ugljikova vlakna se najčešće upotrebljavaju za izradu sportskih čamaca, zbog svojeg omjera čvrstoće napram mase. Ugljikova vlakna su jača ako su izrađena iz jednog dijela što veće duljine. Što je dulji jednodjelni dio to je završna konstrukcija čvršća. U različim dijelovima čamca se upotrebljavaju različita ugljikova vlakna ovisno o zahtjevima koje moraju zadovoljiti. Zato se vrlo mala, gusto pletena ugljikova vlakna zbog svoje savitljivosti i sposobnosti da uđu u nabore primjenjuju za skućena mjesta kao što je sam kraj pramca ili krme. Dio koji se nalazi u sredini sastoji se od vlakna koja su usmjerena u jednom smjeru, što laminat čini izrazito krutim u jednom smjeru. Ugljikova vlakna se polažu u kalup, te se primjenjuje epoksidna smola za povezivanje vlakna u cijelinu. Epoksidna smola ulazi u prazan prostor između ugljikovih vlakna te se umrežuje, te tako nastaje kompozitni materijal. Epoksid je smola koje se mora vrlo precizno primjeniti i u točno određenoj količini u odnosu na ugljikova vlakna. Ona nakon nekog vremena očvršćuje na određenoj temperaturi. Da bi se povisila čvrstoća i izdržljivost materijala dodaje se jezgra unutar dva sloja ugljikovih vlakna. Takav kompozit nazivamo sendvič konstrukcija. Jezgra može biti u obliku pjene ili pčelinjeg saća. Pjena je vrlo čvrst i lagan materijal, dok je jezgra u obliku pčelinjeg saća čvrsta pločasta struktura koja se sastoji od manjih šesterokutnih cijevi koje su međusobno povezane. Jezgra daje dodatnu čvrstoću konstrukciji i što je jezgra deblja to je struktura čvršća. Tip i veličina jezgre koja se upotrebljava se razlikuje ovisno za koji se dio čamca upotrebljava. Pa se zato za izradu dijela trupa koji se nalazi ispod sjedišta, koje je dodatno opterećeno kod svakog zamaha veslaća, upotrebljava drukčiji kompozit nego u ostatku čamca. [24] Veslački čamac od polimernih kompozita prikazan je na slici 4.7.



Slika 4.7. Primjer veslačkog čamca [25]

Izrada vesla za veslačke čamce i kajake:

Vesla za kajake i čamce izrađuju se iz raznih vrsta materijala koji svaki za sebe ima neka dobra i neka loša svojstva u usporedbi s drugim materijalom. Svojstva koja se traže od vesla su što bolji odziv, što manja masa i što bolji balans. Zato se vesla za sportsku primjenu izrađuju od sljedećih materijala: [26]

- drveni laminat se proizvodi na način da se drvene trake spajaju u jednu cjelinu. Time se dobivaju vesla koja su čvršća i lakša od vesla izrađenih u cijelosti iz jednog materijala. Danas su rjeđe u primjeni zbog lošijih svojstva u usporedbi s novim materijalima za izradu vesla. Danas ih uglavnom primjenjuju početnici ili rekreacijske osobe.
- staklena vlakna u kombinaciji s polimernom matricom (uobičajeno poliamid, polipropilen, polietilen). Ovaj tip materijala je vrlo popularan, jer daje dobar kompromis u pogledu efikasnosti, krutosti, male mase i cijene. Moguća je i upotreba ugljikovih vlakna kao dodatnog ojačavala, što još dodatno povisuje krutost, a smanjuje masu.
- ugljikova vlakna u kombinaciji s polimerom: vesla izrađena iz ovog materijala su ekstremno lagana i kruta, te su najbolji izbor za veslača koji želi iskoristiti maksimalnu snagu kod svakog zaveslaja. Međutim baš zbog visoke krutosti, vesla izrađena od ugljikovih materijala, pružaju malu apsorpciju udarca kod zaveslaja. Ti udarci imaju

direktan utjecaj na zglobove i mišiće veslača što je nepovoljno. Drugi nedostatak je visoka cijena. [26]

Primjer vesla s ugljikovim vlaknima kao ojačavalom prikazano je na slici 4.8. [26]



Slika 4.8. Veslo s ugljikovim vlaknima [27]

5. NOVI TRENDОВИ

Novi trendovi u proizvodnji polimernih kompozitnih materijala se uglavnom odnose na zamjenu postojećih materijala koji su štetni za okoliš i čiji postupak proizvodnje izaziva velika zagađenja okoliša s ekološki prihvatljivim materijalima. To se najčešće postiže upotrebom vlakna biljnog porijekla kao ojačavala u kompozitnom materijalu.

Podjela vlakna biljnog porijekla: [28]

- Agava – zbog mogućnosti recikliranja počela se primjenjivati kao zamjena za azbestna i staklena vlakna. Vlakna se dobivaju iz listova agave, koji se trgaju i suše, a zatim se gnječe tako da na kraju ostanu samo vlakna. Iz jednog lista se prosječno može dobiti 1000 vlakna.
- Bambus – tekstilno vlakno, dobiva se od bambusove pulpe. Mekša su od pamuka i posjeduju antibakterijska svojstva.
- Juta – jedna od najjeftinijih prirodnih vlakna. Mogu biti dužine 1-4 m, te su prljavo bijele do smeđe boje
- U posljednjih stotinjak godina proizvodnja se smanjila, iako je prije industrijske revolucije bila popularna zbog svoje čvrstoće i brzog rasta. Proizvodi čak do 250 % više vlakna nego pamuk. Mogu se izravno ili injekcijski prešati
- Crnogorica – najčešće se primjenjuju vlakna bora. Kao matrica se često upotrebljava polipropilen.

Primjer daske za surfanje izrađene s vlaknima agave može se vidjeti na slici 5.1.



Slika 5.1 Daska za surfanje s vlaknima agave [28]

6. ZAKLJUČAK

U završnom radu bilo je potrebno načiniti pregled polimernih kompozitnih materijala koji se upotrebljavaju za izradu sportske opreme u sportovima na vodi. Ovaj kratak pregled polimernih kompozita koji se upotrebljavaju u sportovima na vodi daje uvid u njihovu važnost za razvoj sporta. Polimerni kompoziti su jedan od glavnih razloga za bolja postignuća u sportu na vodi, a i u svakom drugom sportu. Osmišljavaju se mnogi novi sportovi zahvaljujući jedinstvenim svojstvima koje pružaju polimerni kompoziti. Gotovo da i ne postoji vodeni sport koji ne primjenjuje barem jedan polimerni kompozitni materijal. Njihova svojstva kao što su vrlo mala masa, visoka čvrstoća i krutost, postojanost na koroziju, mali koeficijent trenja čine ga idealnim materijalom za upotrebu u vodenim sportovima. Polimerni materijali osiguravaju jedinstvene karakteristike u pogledu brzine, upravljivosti, stabilnosti i pouzdanosti sportske opreme koja se upotrebljava u vodenim sportovima, karakteristike koje se ne mogu ostvariti niti jednim drugima materijalom. U ovom radu prikazani su samo neki primjeri upotrebe polimernih kompozita u sportovima na vodi. S obzirom na širinu njihove primjene i njihove učestale primjene u vodenim sportovima, te brz razvoj novih materijala i novih postupaka izrade može se sa sigurnošću reći da imaju osigurano mjesto u budućnosti.

7. LITERATURA

- [1] <http://www.mar-bal.com/applications/history-of-composites/>, 12.07.2015.
- [2] <http://composite.about.com/od/aboutcompositesplastics/a/HistoryofComposites.htm>,
12.07.2015.
- [3] [http://authors.library.caltech.edu/5456/1/hrst.mit.edu/hrs/materials/public/composites/Composites Overview.htm](http://authors.library.caltech.edu/5456/1/hrst.mit.edu/hrs/materials/public/composites/Composites%20Overview.htm), 13.07.2015.
- [4] <http://sci.uokufa.edu.iq/ar/teaching/alihr/lect.3.pdf>, 1.09.2015.
- [5] https://www.fsb.unizg.hr/zavod_za_materijale/download/8f5b1e68977077c0bc5053548b75628c.pdf, 1.09.2015.
- [6] Filetin, T., Kovačiček, F., Indof, J. *Svojstva i primjena materijala*, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2011.
- [7] <https://ironlady003.wordpress.com/2014/05/12/kompozitni-materijali/>, 10.09.2015.
- [8] <http://aerospaceengineeringblog.com/sandwich-panel/>, 10.09.2015.
- [9] [http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.465.3150&rep=rep1&type= pdf](http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.465.3150&rep=rep1&type=pdf),
10.09.2015.
- [10] https://www.ivc-ev.de/live/index.php?page_id=73, 10.09.2015.
- [11] <http://chemistryofmaterials2013.wikidot.com/jason-nikhomvan>, 10.09.2015.
- [12] https://www.ivc-ev.de/live/index.php?page_id=73, 11.09.2015.
- [13] http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/7512/1/11_chapter%202.pdf,
11.09.2015.
- [14] <http://www.allfishingbuy.com/Fishing-Rods-Materials.htm>, 11.09.2015.
- [15] <https://www.fsb.unizg.hr/kmb/200/230/kmb234.htm>, 11.09.2015.

- [16] <http://www.allfishingbuy.com/Fishing-Pole/Pole-A1-82-2-12016.htm>, 12.09.2015.
- [17] <http://www.allfishingbuy.com/Fishing-Rods-Materials.htm>, 12.09.2015.
- [18] <http://www.madehow.com/Volume-5/Fishing-Rod.html>, 12.09. 2015.
- [19] <http://www.tritonboats.com/about.aspx>, 12.09. 2015.
- [20] <http://www.ashland.com/products/ame-epoxy-vinyl-ester-and-modified-epoxy-vinyl-ester-resins>, 13.09.2015.
- [21] <http://www.britannica.com/sports/surfing>, 13.09.2015.
- [22] <http://www.islesurfboards.com/epoxy-surfboards-buyers-guide.aspx>, 13.09.2015.
- [23] <http://www.surffcs.com/community-story/community-blog/2015/03/25/the-fcs-fin-materials-guide>, 14.09.2015.
- [24] <http://www.pocock.com/rowing-boat-information/composite-racing-shells2/>, 13.09.2015.
- [25] <http://www.pocock.com/racing-shell-models/pocock-rowing-boats-eights/>, 13.09.2015.
- [26] <http://www.atmosphere.ca/en/advice/equipment/paddles>, 14.09.2015.
- [27] <http://wernerpaddles.com/paddles/product/camano-carbon>, 14.09.2015.
- [28] <http://bs.scribd.com/doc/233375901/Kompozitni-materijali#scribd>, 13.09.2015.

8. PRILOG

I. CD-R disc